

手势识别技术在智能家居中的应用研究*

刘子煜^a, 朱 正^a, 安方军^b, 康雨豪^a, 陈慧瑕^c, 郑斯元^b, 戴晓瑜^d, 费 腾^{at}

(武汉大学 a. 资源与环境科学学院; b. 计算机科学学院; c. 经济与管理学院; d. 新闻与传播学院, 武汉 430000)

摘要: 立体手势识别的人性化和直观化使人机交互更加简洁易懂, 因而提出一种基于 Leap Motion 的手势识别技术, 并将其应用于智能家居系统中。为实现对手势的快速识别, 应用双目视觉立体成像原理识别与追踪手部特征点, 将时间序列上的手势压缩为特征向量, 通过特征点位置、方向或运动状态等属性来匹配预定义手势进行手势识别, 继而通过 socket 网络数据通信将手势识别结果生成的指令传递到智能家具端, 完成对家具的控制。研究成功实现了手势识别控制模拟智能灯具。验证表明, 在不同光线环境下, 手势识别都具有高准确性, 这说明该手势识别控制家居系统的稳定性。

关键词: 手势识别; 人机交互; Leap Motion; 智能家居; 物联网

0 引言

随着计算机科技的不断进步, 人机交互逐渐由人适应机器向机器主动适应人的方向发展, 以人为本的交互模式也向着更加精简的直观化、人性化方向发展。因此, 学者们开始广泛关注更符合人们行为习惯的、新颖的人机交互模式, 并获得了巨大的进展^[1], 包括自然语言交互^[2]、电容屏手势交互^[3]、空间手势识别交互^[4]和身体动作跟踪交互^[5]等。其中, 手势识别因其在日常生活以及人际交往中的普遍含义, 更加强调以人为中心的交互, 并以其符合人类认知和操作习惯的特点^[6], 获得了不少领域专家的关注。

现阶段的手势识别技术主要有两种^[7]: 一种是基于依附在手部的专用硬件设备的手势识别, 如数字手套输入手部信息的手势识别、罗迎^[8]应用 5DT 数字手套在 Quest3D 场景中实现漫游的人机交互程序等; 另一种是基于计算机视觉即通过摄像头捕获手部的手势识别, 如翁汉良等人^[9]的单目视觉下利用颜色特征和凸缺陷检测的手势识别方法、谭同德等人^[10]的基于双目视觉的手部定位与手势识别系统等。

本文所述的手势识别是在非接触的状态下直接获得手部的空间信息, 故不将通过器械或手指与界面的接触交互来获得手部运动轨迹的手势考虑在内。又考虑到穿戴于手部的硬件设备如数字手套的手势识别, 在现实应用中必须依赖于专业的数字手套, 致使操作不便、价格昂贵, 有很大的局限性, 因而本文的手势识别采用基于双目视觉成像的识别模式。具体使用 2013 年 Leap Motion 公司推出的一款基于双红外摄像头的同名体感交互设备, 实现手势数据的输入, 通过对手部特征点空间数据在时间序列上的变化分析来判断手势。

近年来, 随着物联网和人机交互模式的进步发展, 智能家居逐渐显示出巨大的市场潜力, 成为现代家居不可或缺的一部分^[11]。各式各样的智能家电交互模式也如雨后的春笋般发展起来, 如何东之等人^[12]基于环绕智能的智能家居控制系统, 实现了用户通过手持设备或联网电脑对各种家电的控制; 智能家居产品 Rokid 的语音交互模式, 实现了语音控制智能家居设备^[13]; 小米、美的合作的家电互联、集成控制, 通过移动设备 APP 与家电进行交互, 实现物联网下的家居生态圈^[14]等。

随着手势识别技术的不断成熟, 将基于手势识别的交互模式应用于智能家居系统中的研究得到了更多的关注。例如于泽升等人^[15]将基于 Kinect 骨骼信息的手势识别技术融入至智能家居的人机交互系统中, 实现手势动作或语音智能控制家居设备等。

在此基础上, 本文探究了将 Leap Motion 手势识别的交互模式与家居的智能结合, 并完成了一个原型系统, 通过对 Leap Motion 获取手势信息的匹配识别, 向智能家居传递相应指令, 实现不仅仅是对开关电器, 更包括对电器模式调节的交互方式, 完成对家电更符合人们行为习惯的直观化操作。

1 基于手势识别技术控制智能家居

基于 Leap Motion 的手势识别控制家电主要分为三个模块, 即 Leap Motion 数据输入模块、计算机数据处理模块和家电控制模块。

其结构框架如图 1 所示。

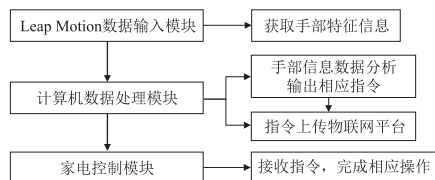


图1 手势识别结构

1.1 Leap Motion 数据输入模块

Leap Motion 作为微米级的 3D 体感交互设备, 内置有两个红外摄像头, 它的可视范围呈倒金字塔状, 塔尖在设备的中心, 拥有 150° 的视角, 如图 2 所示。Leap Motion 系统可以检测并追踪设备前方 2 英寸范围内的手、手指和类似手指的工具, 并可以在小至 0.01 mm 运动的高精度和大致 290 fps 频率的高跟踪帧率下快速采集有效的手部信息^[16]。Leap Motion 有较高的精确度与鲁棒性, 经检验, 其静态位置精确到 0.2 mm, 动态位置精确到 1.2 mm^[17], 是进行手势识别的理想设备。

Leap Motion 对人手定位和识别主要依靠双红外摄像头的双目视觉成像原理。当人手出现在 Leap Motion 可视区域时, 手部将摄像头射出的红外 LED 光源反射回摄像头, 摄像头上的滤光片透过需要的红外光线, 消除反射光中自然光背景的影响, 得到没有噪声的半灰度红外图像。通过双目视觉算法, Leap Motion 将从不同位置的两个摄像头获得的每一帧图像, 根据视差原理, 计算手部相应点间在图像上的位置偏差, 在 Leap Motion 建立的以设备中点为原点, 水平平行于摄像头方向为 x 轴, 水平垂直于摄像头方向为 z 轴, 垂直方向为 y 轴的右手笛卡尔空间坐标系中(图 3), 重建出手势的三维空间信息。

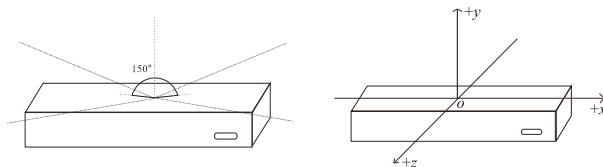


图2 Leap Motion 视角示意图 图3 Leap Motion 空间坐标系示意图

Leap Motion 对手势的追踪是以帧为单位提供一个视野中的数据。每帧数据包含一个手模型的基本追踪数据列表, 如手、手指、工具以及特定的运动模式(手势)和描述场景中的运动因素。在每一帧的数据获取的同时, Leap Motion 还可以分析手部总体运动, 只要之前的数据帧发生了位移、旋转、尺度等变化时, 帧运动因素的运动参数便会给出^[18]。数据列表中提供了手的相关基本属性, 如手掌坐标、手掌速率、手掌法线的方向等, 如表 1 所示; 手运动因素的相关属性, 如旋转坐标、旋转角度、位移等, 如表 2 所示; 端点对象, 如手指、工具的物理属性长度、宽度、方向、尖坐标、尖速率等, 如表 3 所示; 特定运动模式(手势对象), 如圈、挥动等, 如表 4

收稿日期: 2018-03-17; 修回日期: 2018-05-16 基金项目: 武汉大学大学生创新训练项目(S2017205312)

作者简介: 刘子煜(1997-), 女, 江苏徐州人, 本科生, 主要研究方向为地理信息系统、图像识别; 朱正(1997-), 男, 山东临沂人, 本科生, 主要研究方向为 Location-based service and Geoweb; 安方军(1996-), 男, 重庆人, 本科生, 主要研究方向为算法研发; 康雨豪(1996-), 男, 北京人, 本科生, 主要研究方向为时空大数据挖掘与分析; 陈慧瑕(1995-), 女, 福建厦门人, 本科生, 主要研究方向为财务管理; 郑斯元(1997-), 男, 安徽人, 本科生, 主要研究方向为计算机视觉; 戴晓瑜(1996-), 女, 福建泉州人, 本科生, 主要研究方向为广播电视学; 费腾(1981-), 男(通信作者), 上海人, 副教授, 博士, 主要研究方向为生态建模、遥感应用、动物栖息地保护、高光谱植被(feiteng@whu.edu.cn)。

所示。

表 1 Leap Motion 的基本追踪数据列表——手对象

属性名	说明
手掌坐标 (palm position)	在 Leap Motion 坐标系下,手掌中心的坐标以 mm 为单位被衡量
手掌速率 (palm velocity)	手掌 mm/s 的运动速度
手掌法线方向 (palm normal)	与手掌所形成的平面的垂直向量,向量方向指向手掌内侧
方向 (direction)	由手掌中心指向手指的向量
球心 (sphere center)	可以适合手掌内侧弧面的一个球心 (假设握着一个球)
球半径 (sphere radius)	同上,这个是球半径,当手形状变化时,半径跟着变化

表 2 Leap Motion 的基本追踪数据列表——手运动

属性名	说明
旋转坐标 (rotation axis)	一个方向向量来描述坐标的旋转
旋转角度 (rotation angle)	相对于旋转坐标 (笛卡尔坐标系) 的顺时针方向的旋转角度
旋转矩阵 (rotation matrix)	一个旋转的矩阵变换
缩放因子 (scale factor)	一个因子来描述膨胀和收缩
位移 (translation)	一个向量来描述线性运动

表 3 Leap Motion 手模型的基本追踪数据列表——端点对象 (手指和工具)

属性名	说明
长度 (length)	物体的可视长度 (从手长出来的部分)
宽度 (width)	物体的平均宽度
方向 (direction)	一个单位朝向向量,方向与物体指向相同 (如从底座到尖端)
尖坐标 (tip position)	在 Leap Motion 坐标系下,尖端的位置
尖速率 (tip velocity)	尖的运动 mm/s

表 4 Leap Motion 手模型的基本追踪数据列表——手势对象

属性名	说明
圈 (circle)	一个手指头画圆
挥动 (swipe)	手的线性运动
按键点击按键 (key tap)	手指点击运动,就像按下键盘一样
屏幕点击 (screen tap)	对电脑屏幕方向进行垂直点击

1.2 计算机数据处理模块

在计算机上通过编写 C++ 程序实现手势识别程序和指令发送程序。

在手势识别之前,首先根据上述基本追踪数据列表,利用 Leap Motion Controller Service 和 C++ 的 Leap 库采集每一时刻手的特征点坐标和特征方向,实现手部模型的采集。建立基于时间帧的手模型缓冲区 (数据集)。程序基于缓冲区中的信息,对每一个预定识别的手势,选取最具代表性的特征点,并对这些特征点在 Leap Motion 追踪到的数据列表中的属性以及这些特征点的相关关系进行数值范围或者性质的限定,建立识别算法,通过特征点坐标变化和特征方向变化反演得到手势的运动状态,并把手掌运动状态转换为字符指令。

在 Leap Motion 获得空间手势数据集后,计算机通过 Leap Motion SDK 对数据进行调用和处理,得到其提供的相关手部属性以及它们的时间序列数据;对不能直接通过 Leap Motion SDK 获得的手势运动信息,通过计算机对每一帧间同类数据的变化进行计算得到;对特征点相关关系,通过相关特征点同类属性的计算得到。

数据处理之后,应用手势判断程序,将处理后的数据集与预定义手势匹配,进行手势识别。在手势识别过程中,若对所有作为判断条件的特征点,存在已定义手势与当前手势状态的的性质相同或数值之差小于阈值,则匹配成功,手势被识别;若与所有的已定义手势都无法匹配,则无法识别当前手势。例如设定手掌向上抬升的手势,计算机主要提取手部信息中手掌朝向、手指指向、手掌位置三个特征参数,如图 4 所示,根据这三个参数与时间的关系建立识别模型。

除了已定义手势之外,该手势识别技术还支持添加自主定义的可识别手势。在添加手势的系统状态下,计算机分析多次重复输入的手势识别信息,总结特征点、特征关系和运动状态的数据特征,选取最显著特征作为识别该手势的判断条件,记录判断条件,并人为定义该手势的语义。完成自主添加后,该手势即可通过上述已定义手势识别方法,与自主定义添加的可识别手势进行特征

点的匹配,成功实现手势的识别。

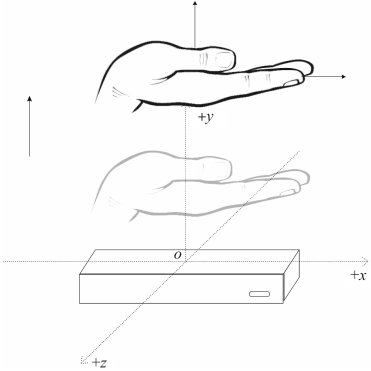


图4 手势示例图

1.3 家电控制模块

根据家电端的交互特点,设计家电可执行的交互控制命令与相应语义的手势,并编写手势判别程序。手势成功识别后,对应的控制命令传递到物联网平台,使得家电从平台上获取指令数据。

计算机与家电间的数据传输通过 socket 通信快速准确地实现。在 socket 进程通信程序的设计中,网络中的进程通信利用标志网络进程的三元组 (IP 地址、协议、端口) 与其他进程进行交互。Socket 是“open—write/read—close”模式的一种实现,因此它提供了一些对应操作的函数接口,可以轻松实现不同端口间的数据通信。

本模块将家电作为客户端、电脑作为服务器端。在客户端程序中,首先创建 socket 函数来确定协议域 (domain)、socket 的类型 (type) 和协议 (protocol),再使用 bind() 函数把一个地址族中的特定地址赋给 socket。通常服务器在启动时都会绑定一个众所周知的地址 (如 IP 地址 + 端口号) 用于提供服务,客户就可以通过它来连接服务器;而客户端不用指定地址,其拥有系统自动分配的一个端口号和自身的 IP 地址组合。确定地址之后,调用 listen() 监听 socket。如果客户端这时调用 connect() 发出连接请求,服务器端就会接收到这个请求,即 TCP 服务器端依次调用 socket()、bind()、listen() 监听指定的 socket 地址,而 TCP 客户端依次调用 socket()、connect(), 向 TCP 服务器发送连接请求。TCP 服务器监听到这个请求之后,通过调用 accept() 函数收取接收请求,从而建立连接。最后利用网络 I/O 操作 (如使用 read()、write() 等函数),实现计算机的指令数据被家电接收。

家电通过这种使用 socket 实现网络间的进程通信获取命令后,执行相关操作,从而实现手势识别对家电的控制操作。

2 应用案例

2.1 手势识别控制的家居系统

为了将基于 Leap Motion 的手势识别技术应用到智能家居上,本文将这种交互方式集成为一个手势控制器,装嵌在智能家居系统中,构建一个集成化的、可控制一系列智能家具包括门的开关、灯的开关、电器开关及操作等的手势控制器。

手势控制的智能家居系统的实现分为 Leap Motion、计算机、家具客户端三个模块。Leap Motion 捕捉手势数据;计算机对数据进行处理分析识别手势,并将成功识别手势调用的相应指令传递到物联网平台;家具客户端监听物联网平台的数据接收,捕获可识别指令并执行相应的操作。

2.2 手势智能控制灯具的实现

根据上述手势识别的原理和应用的思路架构,本文通过建立相对简易的模型,对提出的基于手势控制器的智能家居系统进行了验证。图 5 是模拟手势识别控制灯具的装置说明。在本实验中,灯具的模拟用接有树莓派瑞士军刀扩展板 (SAKS) 上的流水灯实现,作为家居客户端;Leap Motion 连接到计算机,建立起通信;计算机与树莓派之间通过网线相连,将计算机作为以太网的服务端,树莓派作为客户端,实现以太网连接,建立基于以太网的 socket 通信,作为指令传递的物联网平台。



图5 装置结构

具体实现流程如图 6 所示。Leap Motion 通过双红外摄像头返回目标对象的所在位置和移动方向,将每一帧的数据传输回计算机进行后期处理。计算机通过调用 Leap Motion 的 SDK 获得采集

到的手势数据,将按时间顺序排列的每一帧相关手部特征点位置及运动状态进行比较分析,判断是否满足预设的手部特征位置及其运动条件。若满足则通过网线向树莓派发送指令数据,最后树莓派向 LED 灯连接引脚传输信号。

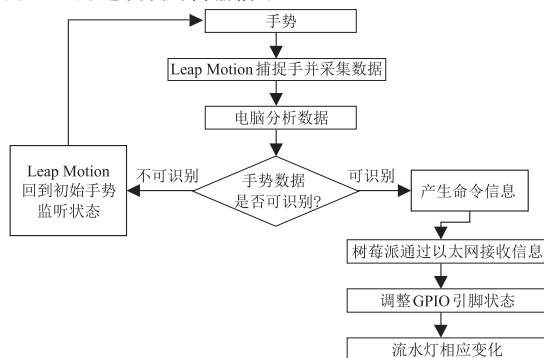


图6 装置运行流程

实验中利用树莓派 GPIO 连接 SAKS 扩展板作为被控制端灯具,操作简单高效。树莓派瑞士军刀扩展板(SAKS)上集成有一排八个颜色不同的 LED 灯,包括两蓝两绿两黄两红。扩展板(SAKS)上流水灯的开关由树莓派五对 GPIO 口的电位高低状态的控制来实现,GPIO 口设置为低电平时,LED 流水灯亮;GPIO 口设置为高电平时,LED 流水灯灭。树莓派利用 Python 中 raspberry-gpio 库的 RPi. gpio. output 函数实现对 GPIO 引脚状态的控制,从而可以控制继电器的状态、改变 LED 流水灯的开关等状态。因树莓派的部分 GPIO 引脚可以传输模拟信号,增加了灯具变化的多样性,满足了多维手势传输多种信号,实现了多维度控制灯具的要求。

在本实验中,计算机编写有四种可被识别的手势:手掌朝向为竖直向上并向上移动,点亮流水灯;手掌朝向为竖直向下并向下移动,熄灭流水灯;食指指尖顺时针旋转,流水灯顺时针运动(依次点亮熄灭);食指指尖逆时针旋转,流水灯逆时针运动(依次点亮熄灭)。经检验这四种手势都可以被识别,实现对灯具的多维控制。实现代码见 <https://github.com/eralogos/Gesture-recognition>。

2.3 精度检验

为检验手势识别的精确度和环境对手势识别的影响,设计四组实验进行测试。四组实验分别在日光、昏暗、室内灯光、室内日光四种条件下,对九种手势(表5)进行测试。每组测试中,在未提及手势识别原理的情况下,10 名测试人员分别做出如上文字描述的手势,每种手势对应做 10 次,做出手势的顺序随个人意愿随机。记录计算机屏幕中显示的手势识别结果,若屏幕输出的编码对应识别的手势,便判定识别成功;若屏幕输出的编码不对应识别的手势,则判断识别错误;若屏幕未输出编码,则判断识别无效。

表5 测试手势说明

手势编号	手势说明
1	手掌朝上向上运动
2	手掌朝下向下运动
3	手向左平移运动
4	手向右平移运动
5	手握拳向前运动
6	手握拳向后平移运动
7	伸出食指做向前点击屏幕动作
8	伸出食指做顺时针旋转运动(>1 圈)
9	伸出食指做逆时针旋转运动(>1 圈)

日光环境的测试结果如表6所示。

表6 日光环境测试结果统计

手势编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	无效	总次数	正确率/%
1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
2	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
3	0	0	98	2	0	0	0	0	0	0	100	98
4	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100	100
5	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100	100
6	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	100
7	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	100
8	0	0	0	0	0	0	0	97	3	0	100	97
9	0	0	0	0	0	0	0	0	99	1	100	99

表中列标题为测试者实际做出的手势编号,行标题为计算机输出的检测结果。从表中分析可以得出,在日光状态下,10 位测试

者的共 900 次测验中出现个别识别错误和未识别状况。其中识别出错的主要原因是测试者手势的无意摆动,造成方向判断错误;而无效的情况主要是由于测试者未正确将手势置于识别区域。其他三种环境条件下得到的实验结果与表5相似,都因测试者的偶然行为出现个别误差。所以比较四种不同环境下的测试结果,可得光线环境的变化对手势识别的精准度影响不大,手势的正确识别不受光线环境的限制。因此,本实验采用的手势识别技术的准确性和稳定性良好。

3 结束语

本文利用 Leap Motion 体感控制器的三维手势识别技术,设计符合生活习惯的手势,将更加安全的非接触式识别的交互模式应用于智能家居系统中,并利用 Leap Motion 与计算机的合作,匹配手部特征点序列信息识别手势发送指令,通过物联网平台将指令传递到树莓派端,完成实例开发。手势操作的交互方式简单直观,但长期悬空操作会产生疲劳,因此不适合作为连续输入设备。但智能家居控制操作都是偶发,因此手势操作是很适合的交互方式。Leap Motion 的追踪数据精度较高,但因为其可视范围没有固定控制点作为绝对位置的标准,所以本文的手势识别目前仅建立在显著动作的识别上,对形态动作差别较大的手势识别具有较高的精度。

下一步,借用已知的智能设备平台,将控制器连接到已建成的家居网络中,扩大手势识别控制系统的应用范围。并进一步设计更多简单易懂的手势,提高相似手势的辨别度,实现对智能家居的多种控制。甚至希望以此带动家电生产的改革浪潮,使未来的家电家具设备都能够开放数据接收端口,方便接入手势识别控制器,全面体系化手势操控,实现全面的智能生活。

致谢:感谢为本项目拍摄宣传片的武汉大学艺术学院的演员们和相关工作人员。

参考文献:

- [1] 傅健,赵江洪,谭浩. 基于潜意识和行为习惯的交互设计启示性[J]. 包装工程, 2013, 34(2): 50-52, 82.
- [2] 谢炯坤. 面向人机互动的自然语言理解的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
- [3] 陈思聪. 3D Touch 交互手势在界面设计中的应用与设计方法[J]. 设计, 2017(3): 130-131.
- [4] 肖志勇,秦华标. 基于视线跟踪和手势识别的人机交互[J]. 计算机工程, 2009, 35(15): 198-200.
- [5] 刘思杨,崔海龙,陈拥权. 一种用于人机交互的运动追踪装置及其追踪方法: 中国, CN 101859439 A[P]. 2010-10-13.
- [6] Imagawa K, Taniguchi R I, Arita D, et al. Appearance-based recognition of hand shapes for sign language in low resolution image[C]// Proc of the 4th Asian Conference on Computer Vision. 2000: 943-948.
- [7] 胡友树. 手势识别技术综述[J]. 中国科技信息, 2005(2): 42, 41.
- [8] 罗迎. Quest3D 虚拟人机交互系统中 5DT 数据手套的应用[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(4): 855-859.
- [9] 翁汉良,战萌伟. 基于视觉的多特征手势识别[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(2): 123-127.
- [10] 谭同德,郭志敏. 基于双目视觉的人手定位与手势识别系统研究[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(1): 259-264.
- [11] 许诺. 国内智能家居市场简析[J]. 家用电器, 2017(1): 17-19, 33.
- [12] 何东之,于敬芝,王书锋,等. 基于环境智能的智能家居控制系统研究[J]. 计算机工程, 2007, 33(10): 261-262, 273.
- [13] Hailey. 懒人专用智能家电[J]. 财经天下, 2016(19): 24.
- [14] 赵园国,苟旭东,武进芳,等. 物联网时代下智能家居的发展与应用[J]. 科技展望, 2015, 25(33): 1-2.
- [15] 于泽升,崔文华,史添玮. 基于 Kinect 手势识别的应用与研究[J]. 计算机科学, 2016, 43(11A): 568-571.
- [16] Marin G, Dominio F, Zanuttigh P. Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices[C]//Proc of IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2015: 1565-1569.
- [17] Frank W, Daniel B, Bartholomäus R, et al. Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller[J]. Sensors, 2013, 13(5): 6380-6393.
- [18] Leap Motion Inc. Leap Motion SDK and plugin documentation[EB/OL]. [2018-05-13]. <https://developer.leapmotion.com/documentation/>.